

06;11;12

Просветляющие покрытия на основе фторидных композиций для органических солнечных элементов

© С.Х. Сулейманов¹, Р. Berger², В.Г. Дыскин¹, М.У. Джанклич¹,
А.Г. Бугаков¹, О.А. Дудко¹, Н.А. Кулагина¹, М. Kim²

¹ Институт материаловедения Научно-производственного объединения „Физика—Солнце“ Академии наук Республики Узбекистан, Ташкент, Узбекистан

E-mail: dyskin@uzsci.net

² The OhioStateUniversity 2015 Neil Avenue, Columbus, Ohio43210, USA

E-mail: pberger@ieee.org

Поступило в Редакцию 24 ноября 2015 г.

В солнечной печи мощностью 3 kW получен сплав смеси фторидов MgF_2 и AlF_3 с CaF_2 . Предполагалось, что малая добавка CaF_2 компенсирует растягивающие напряжения, возникающие в тонких пленках MgF_2 , AlF_3 , и тем самым будут достигнуты улучшенные механические свойства. Результаты рентгенофазового анализа показали, что в сплаве присутствуют обе компоненты смеси и только в сплаве $AlF_3 : CaF_2 = 95 : 5$ (wt %) идентифицирован сложный оксид $CaAl_4O_7$, образование которого объясняется плавлением на воздухе. Увеличение коэффициента пропускания стекла и полиэтилентерефталата после нанесения на их поверхность тонкой пленки из синтезированного материала обусловлено оптическими свойствами AlF_3 , MgF_2 .

Экологически чистый способ производства электрической энергии — это преобразование солнечной энергии с помощью солнечных батарей. Солнечные батареи требуют минимального обслуживания, мобильны и поэтому наиболее востребованы автономными потребителями.

В настоящее время благодаря низкой стоимости и простой технологии производства органические солнечные элементы (ОСЭ) могут стать реальной альтернативой как планарным, так и каскадным солнечным элементам на основе кремния и других полупроводниковых материалов [1–4]. Однако полимеры и ОСЭ на их основе подвержены деструктивному воздействию окружающей среды, имеют

низкое значение коэффициента полезного действия (КПД). Поэтому для успешной коммерциализации ОСЭ необходимо увеличить КПД и время их эксплуатации.

Общим конструкционным элементом (механической основой) фотоэлектрических батарей различного типа, и ОСЭ в том числе, является стекло, оптические свойства и толщина которого сильно влияют на величину генерируемого электрического тока. Увеличить поток солнечного излучения через стекло и тем самым повысить КПД фотоэлектрических батарей можно нанесением антиотражающего покрытия (АП).

Проблема просветления стекла имеет давнюю историю, и каждый раз она решается применительно к поставленной задаче. В нашей работе эта задача решается применительно к солнечной энергетике.

Чтобы уменьшить отражение света от стекла, нужно нанести на его поверхность прозрачную пленку с показателем преломления $n_a = \sqrt{n}$ (n — показатель преломления стекла) и оптической толщиной 0.25λ (λ — длина волны). Показатель преломления стекол $n \sim 1.5$, и для их просветления необходимо АП с показателем преломления $n_a \sim 1.22$. Как легко убедиться, веществ с таким показателем преломления нет [5,6]. Нанесение же многослойных покрытий для уменьшения коэффициента отражения стекла в наземной солнечной энергетике нерентабельно. Технология EISA (evaporation-induced self-assembly) позволяет наносить на стекло однослойные прозрачные покрытия с низким показателем преломления [7,8]. Золь-гель процесс, лежащий в основе этой технологии, в будущем может быть использован для производства фотоэлектрических батарей в промышленных масштабах [8]. Однако пока речь идет о лабораторных образцах, а сама технология нанесения таких покрытий находится в начальной стадии.

Известно, что фториды имеют низкие показатели преломления и хорошую адгезию к стеклу, прозрачны в области спектра $0.2\text{--}12\ \mu\text{m}$. При переходе в жидкое или газообразное состояние фториды не разлагаются [9,10], поэтому они являются наиболее подходящими материалами для просветления стекол. Механические, оптические и химические свойства тонких пленок фторидов зависят от технологии нанесения: температуры подложки, скорости испарения, вакуума и т. д. [9].

Для синтеза на солнечной печи были выбраны смеси фторидов. В качестве основного материала (матрицы) были выбраны MgF_2 , AlF_3 , а добавки (наполнителя) — GaF_2 . Предполагалось, что малая добавка CaF_2 компенсирует растягивающие напряжения, возникающие

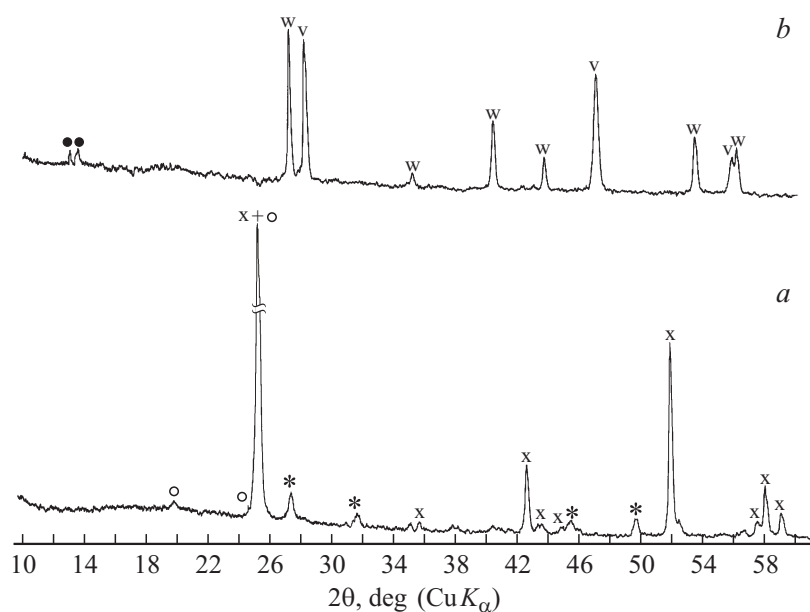


Рис. 1. Дифрактограммы синтезированных материалов покрытий: *a* — $\text{AlF}_3 : \text{CaF}_2 = 95 : 5(\text{wt}\%)$, *b* — $\text{CaF}_2 : \text{MgF}_2 = \text{mol} : 2 \text{mol}$. x — AlF_3 ; o — CaAl_4O_7 ; * — не идентифицированный твердый раствор; v — CaF_2 ; w — MgF_2 ; • — твердый раствор $n\text{CaF}_2 : m\text{MgF}_2$.

в тонких пленках MgF_2 , AlF_3 , и тем самым будут достигнуты улучшенные механические свойства. Синтез нанокompозитного материала проводился в два этапа: подготовка шихты и ее плавление в солнечной печи, плотность лучистого потока которой составляла 800 W/cm^2 . Технология подготовки шихты и особенности плавления изложены в [11,12]. Для экспериментов были выбраны следующие концентрации компонентов: $\text{Al}_3 : \text{CaF}_2 = 95.5(\text{wt}\%)$, $\text{MgF}_2 : \text{CaF}_2 = 95 : 5(\text{wt}\%)$, $\text{MgF}_2 : \text{CaF}_2 = 2 \text{ mol} : \text{mol}$. Покрытия на стеклянные пластинки размером $60 \times 40 \times 1.5 \text{ mm}$ и пленку полиэтилентерефталата (ПЭТФ) наносились вакуумным термическим испарением на установке УВН-71П-3. Рентгенофазовый анализ сплава смеси выполнен на дифрактометре ДРОН-УМ1. Спектры пропускания для области $0.3\text{--}1.1 \mu\text{m}$ измерены

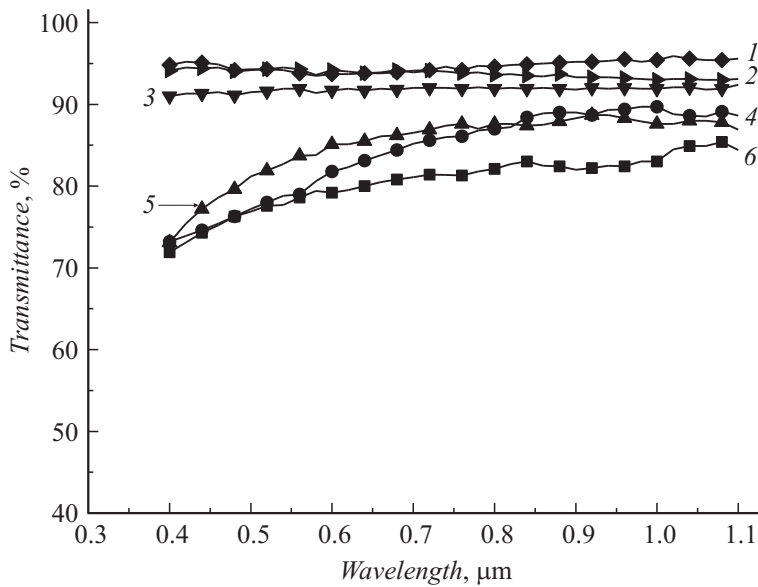


Рис. 2. Спектры пропускания стекла (3) и полимерной пленки ПЭТФ (6) без покрытия и с антиотражающим покрытием из композиционного материала составов $\text{MgF}_2 : \text{CaF}_2 = 95 : 5$ (wt%): 1 — на стекле, 5 — на ПЭТФ; $\text{MgF}_2 : \text{CaF}_2 = 2 \text{ mol} : \text{mol}$: 2 — на стекле, 4 — на ПЭТФ.

с помощью спектрофотометра Perkin Elmer Lambda EZ 150. Часть результатов измерений представлена на рис. 1, 2.

Полученные композиционные материалы (рис. 1) имеют двухфазную и трехфазную кристаллическую структуру, присутствуют элементы оксидных композиций и не идентифицированные фазы твердых растворов. Образование оксидных фаз объясняется плавлением на воздухе. Результаты рентгенофазового анализа показали, что в сплаве присутствуют обе компоненты смеси и только в сплаве $\text{AlF}_3 : \text{CaF}_2$ идентифицирован сложный оксид CaAl_4O_7 . На рис. 2 приведены спектры пропускания стеклянных пластинок и ПЭТФ без АП и с АП. Эффект просветления (увеличение коэффициента пропускания) стекла и ПЭТФ после нанесения АП в спектральной области $0.4\text{--}1.1 \mu\text{m}$ имеется для всех синтезированных материалов и обусловлен оптическими свой-

Приращение КПД за счет нанесения АП

Покрытие MgF ₂ : CaF ₂	Δη, %	
	Стекло	ПЭТФ
95:5	2.2	4.7
2 mol: mol	3.1	5.8

ствами AlF₃, MgF₂, показатель преломления которых ~ 1.38. Влияние на величину коэффициента пропускания оксида CaAl₄O₇ и твердого раствора nCaF₂ : mMgF₂ требует дальнейших исследований.

Поскольку коэффициент пропускания стекла и ПЭТФ увеличился только за счет нанесения АП, то, используя измеренные значения коэффициентов пропускания, оценим величину возможного приращения КПД Δη [13]

$$\Delta\eta = \frac{T_a - T_0}{T_0}, \quad (1)$$

T_0 — среднее значение коэффициента пропускания стекла или ПЭТФ без АП, T_a — среднее значение коэффициента пропускания стекла или ПЭТФ с АП. Результаты вычисления занесены в таблицу, из которой видно, что и для стеклянной подложки, и для пленки ПЭТФ Δη увеличилась.

Таким образом, антиотражающее покрытие на основе фторидов уменьшает отражение солнечного излучения механической основы (стекло или полимер) солнечных батарей и тем самым повышает КПД фотоэлектрической батареи.

Работа выполнена при поддержке американского фонда CRDFGlobal в рамках проекта № M/CRDF-37/2013.

Список литературы

- [1] Krebs F.C. // Solar Energy Mater. Sol. Cells. 2009. V. 93. P. 394–412.
- [2] Трошин П.А., Любовская Р.Н., Разумов В.Ф. // Российские нанотехнологии. Обзоры. 2008. Т. 3. № 5–6. С. 56–77.
- [3] Hoppe H., Sariciftci N.S., Meissner D. // Mol. Cryst. Liq. Cryst. 2002. V. 385. P. 113–119.

- [4] *Yoon W.J., Berger P.R.* // Appl. Phys. Lett. 2008. V. 92. P. 01 306.
- [5] *Золотарев В.М., Морозов В.Н., Смирнова Е.В.* Оптические постоянные природных и технических сред. Л.: Химия, 1984. 215 с.
- [6] Handbook of optical constants of solids / Ed. by E. Palik. Academic Press, 1985. 687 с.
- [7] *Wan Y., Zhao D.* // Chem. Rev. 2007. V. 107. P. 2821–2860.
- [8] *Троицкий Б.Б., Лопатин М.А., Мамаев Ю.А., Хохлова Л.В., Бабин А.А., Денисова В.Н., Новикова М.А.* Способ получения тонких просветляющих покрытий на основе мезопористого диоксида кремния золь-гель методом в присутствии органических кислот, функциональных производных органических кислот, сложных эфиров органических кислот. Патент RU 2371399.
- [9] *Риттер Э.* // Физика тонких пленок / Под ред. Г. Хасса, М. Франкомбра, Р. Гофмана. Т. 8. М.: Мир, 1978. С. 7–60.
- [10] *Минакова Т.С., Екимова И.А.* Фториды и оксиды щелочноземельных металлов и магния. Поверхностные свойства. Томск: Изд. дом Томского гос. ун-та, 2014. 148 с.
- [11] *Suleimanov S.Kh., Dzhanklych M.U., Dyskin V.G., Settarova Z.S., Kulagina N.A., Tursunov M.N.* // Appl. Sol. Energy. 2010. V. 46. Iss. 4. P. 296–297.
- [12] *Suleimanov S.Kh., Dyskin V.G., Dzhanklych M.U., Kulagina N.A.* // Tech. Phys. Lett. 2013. V. 39. Iss. 3. P. 306–308.
- [13] *Tursunov M.N., Dyskin V.G., Yuldashev I.A., Sobirov Kh., Hwoanv P.J.* // Appl. Sol. Energy. 2015. V. 51. Iss. 2. P. 163–164.